

KOCAELİ'DE FARKLI MİKROÇEVRELERDE UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER, AĞIR METALLER VE İNORGANİK GAZ FAZI KİRLETİCİLERİN İÇ VE DIŞ ORTAM SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Zehra BOZKURT
Demet ARSLANBAŞ
Hakan PEKEY
Beyhan PEKEY
Abdullah ZARARSIZ
Güray DOĞAN
Yetkin Sönmez DUMANOĞLU
Abdurrahman BAYRAM
Nurettin EFE
Gürdal TUNCEL

ÖZET

Bu çalışmada, Kocaeli'de farklı bölgelerde (endüstriyel, kent merkezi, kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgesi) ve farklı mikro-çevrelerde (ev, okul, ofis), iç ve dış ortam hava örneklemeleri ile ağır metaller, uçucu organik bileşikler, SO₂, NO₂ ve O₃ konsantrasyonları belirlenerek, iç ortam hava kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmada, seçilen inorganik ve organik kirleticilerin iç ve dış ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi için 2006 yaz mevsiminde 15 ev, 10 ofis ve 3 ilköğretim okulunun iç ve dış ortamlarında aktif ve pasif örnekleme çalışmaları yapılmıştır.

İç ortamlarda (okul, ofis, ev) yapılan pasif örneklemeler ile elde edilen sonuçların ortalama konsantrasyon değerleri NO₂, SO₂, O₃ için sırasıyla; 35,26; 3,79; 6,21 µg/m³ olarak; Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen için sırasıyla; 9,44; 51,07; 11,77; 19,04 µg/m³ olarak bulunmuştur. İç Ortam Partikül Madde (PM_{2.5}) veri setinde eser ve major elementlerin ortalama konsantrasyonları 0.0022 µg/m³ (Ni) ile 0.5008 µg/m³ (Ca) arasında değişmektedir. İç Ortam Partikül Madde (PM₁₀) veri setinde eser ve major elementlerin ortalama konsantrasyonları 0.0022 µg/m³ (Ni) ile 1.9694 µg/m³ (Ca) arasında değişmektedir.

1.GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının yaklaşık %90'ını iç ortamlarda geçirirler. Bu konuda yapılan çalışmalar, iç ortam havasının çoğunlukla kirli olduğunu ve dış ortam havasında bulunan kirletici seviyelerinden daha fazla seviyede kirletici içerdiğini belirtmiştir [1]. Binaların konumu, yapısı ve havalandırma sistemlerinin planlı bir şekilde tasarlanması nedeniyle gelişmiş ülkelerde konutlarda iç ortam hava kirletici seviyeleri genellikle düşüktür. Bununla birlikte, ortamdaki havalandırma yetersizse veya konut içindeki cihazlar hasarlı ise kirletici seviyeleri insan sağlığına zarar verebilecek boyutlara çıkabilir [2].

İç ortam hava kirleticileri arasında özellikle uçucu organik bileşikler (UOB'ler) ve ağır metaller toksik ve kanserojen etkileri nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir. Ayrıca SO₂, NO₂ ve O₃ gibi konvansiyonel gaz fazı kirleticiler iç ortamda dış ortamdaki daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir [3].

Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olabilmektedir. Birçok UOB toksik ve kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve bu yüzden bu bileşiklerin büyük miktarlarına kısa süreliğine ya da küçük miktarlarına uzun süreliğine maruz kalmak güvenli değildir. UOB'lere fazla maruz kalındığında gözlenen bazı sağlık problemleri olarak baş dönmesi, baş ağrısı ve mide bulantısı sayılabilir. Ayrıca benzen gibi bazı UOB'lere uzun bir süre maruz kalınmasının kansere yol açtığı görülmüştür. Ayrıca, n-hekzanın sebep olduğu kronik nörotoksik etkiler, aldehytlerin yol açtığı mukoz zarındaki tahriş, toluen ve ksilenlerin merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileride rapor edilmiştir [4].

Arsenik, Be, Cd, Cl, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, ve Se gibi bazı ağır metaller insanlar için kanserojendirler. Bu elementlerin çoğu kömür ve petrol yanması, insineratörler, motorlu taşıtlar ve metal endüstrileri gibi dış ortam emisyon kaynakları ile ilişkili olmalarına rağmen dış ortam- iç ortam taşınımı yoluyla iç ortama önemli bir katkı sağlayabilmektedir. Ağır metallerin diğer kaynakları arasında yol tozlarından gelen yer kabuğu elementleri, inşaat aktiviteleri, tekerlek/fren aşınması ve çimento fabrikaları sayılabilir [5]. Son yıllarda solunabilir partiküllerin neden olduğu sağlık risklerine çok önem verilmektedir ve bu nedenle solunabilir partiküller ile olumsuz sağlık etkileri arasındaki ilişkiler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [6; 7; 8]. İnce partiküller kolaylıkla solunması ve akciğerlerde depolanması ile solunum sistemi rahatsızlıkları ve ölüm oranlarının artmasına sebep olması nedeniyle daha fazla önem göstermektedir [9; 10; 11].

Kükürt dioksit, yakıtların yanması sırasında kükürt içeren safsızlıkların yükseltgenmesi ile ortaya çıkar. İç ortam SO₂ konsantrasyonlarına bağlı olarak kısa vadeli sağlık etkilerini gösteren birkaç belirti vardır. Bununla birlikte SO₂'ye uzun süreli maruziyet sonucunda artan kronik solunum yolu şikayetleri tespit edilmiştir [3].

Azot oksitler, yanma prosesleri sonucu oluşurlar ve havaya başlıca NO ile birlikte NO₂ olarak yayılırlar. Azot dioksit yükseltgeyici bir maddedir. Bu nedenle, akciğerin mukoza zarı üzerinde tahriş edici olabilir. Suda oldukça iyi çözünür ve soluduğumuz NO₂'nin büyük bir kısmı solunum yolunda su ile reaksiyona girerek asit oluşturabilir. Bu reaksiyonlar sonucunda NO₂ maruziyeti ciğerlerde tahribata neden olmaktadır. Ayrıca, azot bileşikleri çevresel açıdan fotokimyasal smog ve troposferik ozon oluşumunda da önemlidirler. [12].

Ozonun oluşumu ve atmosferden doğal uzaklaşma olayları güneş radyasyonunun azot dioksit üzerine etkisi sonucu bir dizi reaksiyon ile gerçekleşmektedir. Atmosferde bulunan uçucu organik bileşikler ve hidroksil radikalleri, dengedeki ozon konsantrasyonunun bozulmasına neden olur [13]. Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığında olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir [14]. Ozon maruziyetinin; ağız, burun ve ciğerler üzerinde yakıcı ve tahriş edici bir etkisi vardır. Çocuklar yaz aylarında zamanlarının çoğunu dış ortamlarda oyun oynayarak geçirdiklerinden ozon maruziyeti için riskli grubu oluştururlar [15].

Ülkemizde bu güne kadar iç ortam hava kalitesi konusunda yapılan çalışmaların dünyadaki diğer bölgeler ile karşılaştırıldığında sayıca az olması, bölgemizde mevcut durumun tespit edilmesi için daha çok veri üretilmesine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu çalışma sayesinde, endüstri, trafik ve yerleşimin yoğun olduğu Kocaeli kenti için iç ortam hava kirliliğine ilişkin mevcut durum değerlendirilebilecektir.

2. KAPSAM

Çalışma kapsamında, Kocaeli'de farklı bölgelerde (endüstriyel, kent merkezi, kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgesi) ve farklı mikroçevrelerde, 15 ev, 10 ofis ve 3 ilköğretim okulunun iç ve dış ortamlarında aktif ve pasif örnekleme teknikleri kullanılarak 14 element (Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb), UOB'ler, SO₂, NO₂ ve O₃ konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma 4 aşamadan oluşmaktadır:

Birinci aşamada örnekleme yapılacak mikroçevreler ve bu mikroçevrelerde (ev, okul, ofis) aktif ve pasif örnekleme noktaları belirlenmiştir. Örnekleme alanı olarak kent nüfusu, trafik ve endüstrinin yoğun olduğu İzmit Büyükşehir ve Körfez Belediyeleri sınırları içerisindeki bölge seçilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen bölge, D-100 karayolu ve TEM otoyolunun etkisi altındadır. Bölgede Türkiye'nin %30'dan daha fazla ihtiyacını karşılayan Rafineri Tesisi, Petrokimya Kompleksi, Tehlikeli ve Klinik Atık Yakma Tesisi'nin yanı sıra çok sayıda tekstil (183 sanayi kuruluşu), makina (99), maden (88), metal (55), gıda (52), otomotiv (47), kağıt (42), kimya (37), ağaç (34), petrol (14), deri (4), kömür (4) ve diğer (398) sanayi kuruluşları yer almaktadır. Bu tesisler, uçucu organik bileşikler ve ağır metalleri içeren çok sayıda kirlenici yaymaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, belirlenen mikroçevrelerin iç ve dış ortamlarına aktif ve pasif örnekleme noktaları yerleştirilmiş ve bu esnada örnekleme ile ilgili anket çalışması yapılmıştır.

Üçüncü aşama kirlenicilerin aktif ve pasif ölçümünü içermektedir. Aktif örnekleme, belirlenen mikroçevrelerin genel kullanım alanında 24 saat süre ile otomatik ölçüm ve örnekleme cihazları ile yapılmıştır. Bu noktalarda UOB'ler, SO₂, NO₂ ve O₃ konsantrasyonları saatlik olarak ölçülmüştür. Bu sayede kirlenici konsantrasyonlarının iç ortam havasında zamanla nasıl değiştiği belirlenmiştir. Partikül Madde örnekleme noktaları 24 saatlik sürelerle yapılmıştır. Ayrıca dış ortam havasında görülen kısa süreli değişimlerin iç ortam havasını nasıl etkilediği incelenmiştir. Pasif örnekleme yöntemiyle de UOB'ler, SO₂, NO₂ ve O₃ düzeyleri belirlenmiştir. Her bir örnekleme noktasında pasif örnekleme cihazları 24 saat süre ile tutularak kirlenici konsantrasyonlarının örneklenen mekanlarda ne şekilde değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, uçucu organik bileşiklerden BTEX'ler (benzen, toluen, etilbenzen ve m,p,o-ksilen) ve inorganik gaz fazı kirlenicilerin (SO₂, NO₂ ve O₃) iç ve dış ortam pasif örnekleme sonuçları ile iç ve dış ortamda aktif örnekleme yöntemi ile toplanan PM2.5 ve PM10 örneklerinde 14 elementin konsantrasyonları verilmiştir.

Örneklenen mikroçevrelerin iç ve dış ortamlarında Stack Filter Unit (SFU) düşük hacimli hava örnekleme cihazları kullanılarak yapılan aktif örnekleme ile günlük olarak toplanan PM2.5 ve PM10 örneklerinde element konsantrasyonları TAEK Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi laboratuvarlarında XRF ölçüm tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Aktif SO₂, NO₂ ve O₃ örnekleme noktaları on-line cihazlar kullanılarak, Aktif UOB örnekleme noktaları iç ortamda on-line GC cihazı, dış ortamda ise kanisterler kullanılarak yapılmıştır.

Pasif örnekleme yöntemi ile toplanan iç ve dış ortam örneklerinin SO₂ ve NO₂ analizleri iyon kromatografi tekniği ile Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, O₃ analizleri spektrofotometrik yöntemle ve UOB analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında termal desorber ünitesi bulunan GC-FID ile günlük ortalama konsantrasyonlar şeklinde belirlenmiştir.

3.1. Örnekleme Yapılan Mikroçevrelerin Seçimi

Çalışma kapsamında örnekleme yapılan farklı mikroçevrelerin belirlenmesinde aşağıda belirtilen kriterler gözönüne alınmıştır.

1. Örnekleme yapılacak yerlerin endüstriyel, kent merkezi ve kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgelerinde olması,
2. Seçilen bölgelerde bulunan mikroçevrelerin trafiğin yoğun olduğu bölgelerde ve uzağında olması,
3. Ev ve iş yerlerinde sigara kullanımı,
4. Örnekleme yapılacak yerlerde ısıtma amaçlı kullanılan yakıt türü (doğalgaz, fuel-oil, kömür),
5. Örnekleme yapılacak okulun tam gün eğitim vermesi,
6. Fotokopi makinası, printer vb. ofis malzemelerinin kullanıldığı ofisler olmasına dikkat edilmiştir.

3.2. İç Ortam Örnekleme

Pasif örnekleme çalışması okullarda 3 noktada (sınıf, idareci odası ve dış ortam), ofislerde 2 noktada (iç ortam ve dış ortam), evlerde ise 4 noktada (mutfak, oturma odası, yatak odası ve dış ortam) gerçekleştirilmiştir.

İç ortam pasif örnekleme noktalarının belirlenmesinde göz önüne alınan noktalar ise;

1. Örnekleme yapılabilecek dış kapıdan ve pencerelerden en az 2 metre uzağa yerleştirilmesi,
2. Örnekleme yapılabilecek odanın duvarı boyunca veya köşelerine koymaktan kaçınılması ve mümkün olduğunca odanın ortasına yerleştirilmesi,
3. Örnekleme yapılacak mekanlarda örnekleme yapılabilecek kirletici kaynakların çok yakınında olmaması,
4. Örnekleme yapılabilecek 1.5 metre yüksekliğinde T şeklinde bir düzeneğe asılması dikkate alınmıştır.

Aktif örnekleme yapılabilecek mekanların genel kullanım alanlarına yerleştirilmiştir.

3.3. Dış Ortam Örnekleme

Dış ortamda aktif ve pasif örnekleme yapılabilecek belirlenen mikroçevrelerin dış ortamlarında tek bir noktada gerçekleştirilmiştir.

Dış ortamda yer seçimi yaparken dikkat edilen hususlar ise;

1. Örnekleme yapılabilecek iç ortam için seçilen mikroçevrelerin yakınında korumalı bir alana konulmasına,
2. Ağaç veya çalılardan en az 1 metre uzağa konulmasına
3. Taşıt yolundan en az 5 metre uzağına konulmasına
4. Havalandırma çıkışlarından (kurutucu, hava şartlandırıcıları, v.b) en az 5 metre uzağa yerleştirilmesine dikkat edilmiştir.

4. BULGULAR

NO₂, SO₂ ve O₃ için; okullar, ofisler ve evlerde ölçülen iç ortam ve dış ortam pasif örnekleme sonuçları, okul, ofis ve evler için ayrı ayrı ortalama konsantrasyonlar, bütün mikroçevrelerde yapılan örneklemlerin ortalaması (tüm data) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç-dış konsantrasyon oranları şeklinde Tablo 1'de, verilmektedir. BTEX'ler için okullar, ofisler ve evlerde iç ve dış ortam pasif örnekleme sonuçları, okul, ofis ve evler için ayrı ayrı ortalama konsantrasyonlar, bütün mikroçevrelerde yapılan örneklemlerin ortalaması (tüm data) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç-dış konsantrasyon oranları şeklinde Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 1 ve 2 de yer alan iç ortama ilişkin sonuçlar örneklenen 15 ev, 10 ofis ve 3 okula ait değerleri içermektedir. Ksilenler (m-ksilen, p-ksilen ve o-ksilen) tablolarda toplamları alınarak verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'de ; okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM2.5 ve PM10) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç-dış konsantrasyon oranları verilmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'de yer alan iç ortama ilişkin sonuçlar örneklenen mikroçevrelerin genel kullanım alanlarında toplam 28 noktaya ait değerleri içermektedir.

Tablo 1. Okullar, ofisler ve evlerde NO₂, SO₂, O₃ pasif örnekleme iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları

ORTAM		NO ₂	SO ₂	O ₃
İÇ ORTAM (n=61)	OKUL	24,42	4,62	9,51
	OFİS	41,03	4,18	4,53
	EV	40,33	2,57	4,58
	TÜM DATA	35,26	3,79	6,21
DIŞ ORTAM (n=28)	OKUL	25,63	36,69	56,07
	OFİS	38,11	21,34	40,19
	EV	28,11	14,16	36,87
	TÜM DATA	30,62	24,06	44,38
İÇ ORTAM / DIŞ ORTAM	OKUL	0,95	0,13	0,17
	OFİS	1,08	0,2	0,11
	EV	1,43	0,18	0,12
	TÜM DATA	1,15	0,16	0,14

Tablo 2. Okullar, ofisler ve evlerde UOB'lerin pasif örnekleme iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları

ORTAM		Benzen	Toluen	Etilbenzen	Ksilenler
İÇ ORTAM (n=61)	OKUL	7,5	55,05	11,11	15,44
	OFİS	11,95	53,98	11,13	25,17
	EV	8,88	44,19	13,07	16,5
	TÜM DATA	9,44	51,07	11,77	19,04
DIŞ ORTAM (n=28)	OKUL	4,77	18,15	6,1	12,42
	OFİS	7,83	33,73	5,57	16,12
	EV	10,03	30,72	4,49	19,65
	TÜM DATA	7,54	27,53	5,39	16,06
İÇ ORTAM / DIŞ ORTAM	OKUL	1,57	3,03	1,82	3,88
	OFİS	1,53	1,6	2	4,65
	EV	0,89	1,44	2,91	2,77
	TÜM DATA	1,25	1,85	2,18	1,18

Tablo 3. Okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM2.5) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları

	İÇ ORTAM(n=28)				DIŞ ORTAM(n=28)				İÇ ORTAM/ DIŞ ORTAM			
	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler
Mg	0,0206	–	0,0234	0,0196	0,0268	–	0,0332	0,0236	0,7687	–	0,7048	0,8305
Al	0,0644	0,0974	0,0737	0,0515	0,1182	0,1635	0,1337	0,0989	0,5442	0,5936	0,5418	0,536
Si	0,4184	0,6444	0,4643	0,3426	0,6956	0,9805	0,7359	0,6117	0,6073	0,657	0,6332	0,5801
S	0,315	0,2666	0,3186	0,3223	0,3965	0,3588	0,4259	0,3844	0,8058	0,7759	0,7487	0,8497
K	0,0989	0,0981	0,1005	0,098	0,1539	0,128	0,1432	0,1661	0,6578	0,788	0,7078	0,5984
Ca	0,5008	0,5892	0,5472	0,4521	0,8813	1,1149	0,8727	0,8404	0,569	0,5339	0,6284	0,5364
Ti	0,0336	0,0555	0,0332	0,0294	0,0561	0,0836	0,0579	0,0493	0,5906	0,6535	0,5774	0,5865
Cr	0,0027	0,0022	0,0023	0,003	0,0039	0,0028	0,0037	0,0043	0,6965	0,7944	0,6735	0,6923
Mn	0,0309	0,0272	0,0208	0,0369	0,0462	0,0531	0,0302	0,0561	0,5974	0,5004	0,6288	0,606
Fe	0,0744	0,0731	0,067	0,079	0,1628	0,1957	0,1275	0,1832	0,3895	0,467	0,424	0,3531
Ni	0,0022	–	0,0024	0,0022	0,0027	–	0,0031	0,0025	0,8229	–	0,7587	0,863
Cu	0,0178	0,0132	0,0198	0,0173	0,0229	0,0203	0,0252	0,022	0,7915	0,6543	0,8135	0,8044
Zn	0,0689	0,025	0,0212	0,1086	0,1218	0,0519	0,0411	0,1621	0,569	0,6489	0,5134	0,5814
Pb	0,0346	0,0259	0,0329	0,0376	0,054	0,0428	0,055	0,0555	0,6777	0,6628	0,6302	0,7124

– : belirlenemedi

Tablo 4. Okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM10) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları

	İç Ortam Örnekleme(n=28)				Dış Ortam Örnekleme(n=28)				İç Ortam / Dış Ortam			
	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler
Mg	0,0173	–	0,0103	0,0196	0,0231	–	0,0227	0,0236	0,8393	–	0,8393	0,8305
Al	0,1977	0,3399	0,2389	0,1418	0,4888	0,5265	0,594	0,4112	0,4315	0,6838	0,4564	0,3644
Si	1,2898	2,6201	1,4508	0,9163	3,1302	3,7099	3,8573	2,5295	0,4258	0,7233	0,4037	0,381
S	0,3853	0,3482	0,4167	0,3718	0,588	0,6968	0,6677	0,5131	0,6915	0,6128	0,6398	0,7418
K	0,2494	0,3576	0,2696	0,2142	0,5261	0,482	0,6929	0,4238	0,5163	0,7324	0,4421	0,5226
Ca	1,9694	3,5872	2,2261	1,4747	5,7675	5,9751	8,138	4,1457	0,3638	0,5845	0,3154	0,3519
Ti	0,0994	0,1627	0,1157	0,076	0,2762	0,2726	0,4105	0,1874	0,4114	0,6037	0,3418	0,4193
Cr	0,0062	0,0057	0,0058	0,0065	0,0116	0,0085	0,0143	0,0104	0,5854	0,6641	0,4462	0,6624
Mn	0,0599	0,0881	0,0628	0,0519	0,1695	0,1253	0,2503	0,1245	0,3873	0,6978	0,3237	0,3662
Fe	0,242	0,5132	0,2799	0,1503	1,0286	0,7183	1,6357	0,6859	0,2801	0,648	0,2449	0,2222
Ni	0,0022	–	0,0024	0,002	0,0027	–	0,0031	0,0025	0,7942	–	0,7587	0,8164
Cu	0,0334	0,0396	0,0326	0,0327	0,0524	0,061	0,0463	0,0548	0,6638	0,6976	0,7267	0,6151
Zn	0,1116	0,0191	0,1623	0,1151	0,2269	0,0782	0,4116	0,1469	0,4119	0,5022	0,2668	0,4819
Pb	0,0597	0,0434	0,0741	0,0534	0,1029	0,0763	0,1394	0,0838	0,6875	0,5769	0,7155	0,6909

– : belirlenemedi

SONUÇ

Elde edilen ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek NO₂ konsantrasyonları evlerde gözlenirken bunu ofisler ve okulların takip ettiği görülmektedir (Tablo 1). Azot dioksit için iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları okullar ve ofislerde 1 dolayında iken evlerde 1,5 olması evlerde iç ortam NO₂ kirlenici kaynaklarının ofis ve okullara oranla daha baskın olduğunu işaret etmektedir. Örnekleme yapılan evlerin çoğunda mutfakta doğalgaz kullanılması, bu ortamlardaki NO₂ kaynağı olarak doğalgaz yakılan ocakları işaret etmektedir. SO₂ ve O₃ için iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranlarının sırasıyla 0,18 ve 0,12 olması SO₂ ve O₃ kirliliğinin dış ortam kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde, BTEX konsantrasyonlarının ofislerde en yüksek değerlere ulaştığı bunu okullar ve evlerin takip ettiği görülmektedir. Örneklenen mikroçevrelerin dış ortamlarında ise birbirine yakın toplam BTEX konsantrasyonları elde edilmiştir. Örneklenen yerlerin trafiğe yakınlığı, farklı kirlenici kaynaklarına sahip olması gibi bir çok etkene bağlı olarak her bir UOB bileşiğinin katkısı her ortamda farklılıklar göstermektedir. Ayrıca iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranlarının 2'nin üzerinde olması, dış ortam kirlenici kaynaklarının iç ortam kirliliğine etkisinin olduğunu ancak iç ortamlardaki kirlenici kaynaklarının tesbit edilen BTEX'lerde daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, kullanılan büro malzemeleri, boya ve kaplama malzemeleri, mobilyalar, pişirme faaliyetleri, sigara kullanımı gibi çok sayıda iç ortam kirlenici kaynağının varlığı ile açıklanabilir. Aynı değerlendirme herbir bileşik için farklılıklar göstermektedir. İç Ortam / Dış Ortam oranlarında önemli sonuçlardan birisi de benzen için elde edilen konsantrasyon oranlarının incelenen diğer bileşiklere nazaran daha küçük değerlere sahip olmasıdır. Bu durum bir dış ortam kirlenici kaynağı olarak trafiğin benzen için en önemli kaynaklardan birisi olduğunu göstermektedir. Özellikle trafik ve endüstrinin yoğun olduğu alanların dış ortamlarında elde edilen yüksek BTEX konsantrasyonları trafik ve endüstrinin BTEX konsantrasyonlarına üzerinde etkisini göstermektedir.

Tablo 3 incelendiğinde, iç ortam ve dış ortam partikül madde (PM_{2.5}) sonuçları için hem major elementler hem de eser elementlerin benzer dağılım gösterdikleri görülmektedir. Dış ortamda yüksek konsantrasyonlarda bulunan major elementlerin iç ortam konsantrasyon değerlerinin de yüksek olması yaz mevsimi nedeniyle örneklenen çevrelerde pencerelerin uzun süre açık kalması ile ilişkilendirilebilir. Bu sayede sözü geçen toprak kaynaklı elementlerin iç ortamlara taşınımının yüksek olduğu görülmektedir. Kalsiyum, Si, S, Fe, K, Al gibi majör elementler arasındaki bu ilişki Zn, Pb, Cu, Cr ve Ni gibi eser elementler için de tesbit edilmiştir.

Örneklenen mekanların iç ve dış ortamlarında en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonlarına sahip majör elementlerin sırasıyla Ca, Si ve S olurken, eser elementler için ise Zn elementi en yüksek ortalama konsantrasyona sahip iken bu elementi Pb elementi takip etmiştir.

PM_{2.5} iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları incelenen tüm mikroçevrelerde 1'den küçük değerlere sahiptir. Bu durum, incelenen tüm elementler için dış ortam kirlenici kaynaklarının iç ortam kirlenici kaynaklarına baskın olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, iç ortamdan elde edilen PM_{2.5} değerlerine dış ortamın büyük bir katkısının olduğu söylenebilir. Ancak böyle bir değerlendirmenin ardından, iç ortamda elde edilen sonuçlara iç ortamdaki olası kirlenici kaynaklarının hiç etkisinin olmadığı, sadece dış ortamdan kaynaklanan kirlenicilerin iç ortama taşınımı olduğu şeklinde de düşünülmemelidir.

Tablo 4 incelendiğinde PM_{2.5} sonuçlarına benzer şekilde iç ortam ve dış ortam PM₁₀ sonuçları da major ve eser elementler bakımından benzer sıra ile dağıldığı bulunmuştur. PM₁₀ sonuçlarına bakıldığında özellikle toprak kaynaklı elementlerin PM_{2.5}'a nazaran daha çok kalın partiküllerde (PM₁₀) toplandığı görülmektedir. PM_{2.5} sonuçlarında olduğu gibi PM₁₀ sonuçlarında da iç ortam/dış ortam oranları incelenen tüm mikroçevrelerde 1'den küçük bulunmuştur. Bu durum incelenen tüm ağır metaller için dış ortam kirlenici kaynaklarının iç ortam kirlenici kaynaklarına baskın olduğunu ve iç ortamdan elde edilen partikül madde değerlerine dış ortamın büyük bir katkısının olduğunu göstermektedir.

Kocaeli'nin Türkiye'nin en önemli endüstri bölgelerinden biri olması, TEM otoyolu ve D-100 karayolunun etkisi altında bulunması bölgeyi hava kirliliği açısından risk altına almaktadır. Hava kirliticilerine maruziyetin neden olduğu sağlık riski değerlendirmeleri iç ortamdaki kirlenici seviyelerinin detaylı olarak bilinmesini gerektirir. Bu çalışmanın tamamlanmasıyla, Kocaeli gibi yoğun kirliliğin olduğu bir sanayi bölgesinde yaşayan insanların maruz kaldıkları hava kirlenitçilerle ilgili sağlıklı ve kapsamlı bilgiler elde edilmesi beklenmektedir.

Hem elde edilen ilk örnekleme sonuçları hem de örneklenen mikroçevrelerde yapılan anket çalışmaları ışığında, hava kirliliği açısından sağlıklı bir kent planlaması yapılırken yerleşim alanlarının endüstriyel bölgelerden ve trafikten mümkün olduğunca uzak alanlarda konumlandırılması, rüzgar yönü, topografya, binaların perdeleme etkisi gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiği, kapalı alanlarda ortam havasının sirkülasyonu ve temizlenmesini verimli şekilde sağlayabilecek havalandırma sistemlerinin tasarlanması gerektiğini söyleyebiliriz.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından desteklenen 104Y275 nolu Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] US EPA, Indoor air quality: sick building syndrome (EPA/402-F-94-004), Indoor Air Group, Research Triangle Park, North Carolina, 1991.
- [2] WORLD HEALTH ORGANİZATİON (WHO), Health risk assesment of indoor air quality , (Mog/HSE/4.3/001,AC.01.03.01.AW),Ulaan baatar Mongolia, 2003-2004.
- [3] JONES A.P., Indoor air quality and health, Atmosferic Environment 33, 4535-4564, 1999.
- [4] HESTER, R.E., HARRISON, R.M., Air Pollution and health, The Royal Society of Chemistry, UK, 1998.
- [5] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological rofile information sheet, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles>, 2003.
- [6] POPE III C.A., Respiratory hospital admission associated with PM10 pollution in Utah, Salt Lake, and Cache Valleys. Archives of Environmental Health, 46(2), 90-97, 1991.
- [7] CHOUDHURY, A.H., GORDIAN, M.E., MORRIS, S.S., Associations between respiratory illness and PM10 air pollution. Archives of Environmental Health, 52, 113-117, 1997.
- [8] CARLTON, A.G., TURPIN, J.B., JOHNSON, W., BUCKLEY, B.T., SIMCIK, M., EISENREICH, S.J., Methods for characterization of personal aerosol exposures. Aerosol Science and Technology, 31, 66-80, 1999.
- [9] CLAYTON, C.A., PERRITT, R.L., PELLIZZARI, E.D., THOMAS, K.W., WITHMORE, R.W., Particle total exposure assessment methodology (PTEAM) study: distributions of aerosol and elemental concentrations in personal, indoor, and outdoor air samples in a southern California community. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 3, 227-250, 1993.
- [10] SEATON, A., MACNEE, W., DONALDSON, K., GODDEN, D., Particulate air pollution and acute health effects. Lancet, 345, 176-178, 1995.
- [11] MONN, C.H., FUCHS, A., HOGGER, D., JUNKER, M., KOGELSCHATZ, D., ROTH, N., WANNER, H.U., Particulate matter less than 10 µm (PM10) and fine particles less than 2.5 µm (PM2.5): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. The Science of the Total Environment, 208, 15-21, 1997.
- [12] WORLD HEALTH ORGANİZATİON (WHO), Nitrogen Oxides, Environmental Health Criteria 188, Geneva, 1997.

- [13] RSHM, Refik Saydam Hıfzıssıha Merkezi Başkanlığı, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü. Hava kirliliğine genel bakış. 60 sayfa, 2004.
- [14] MIRICI, A., TUTAR, Ü., İn hale edilen partikülün solunum sistemindeki serüveni. Toraks Dergisi, Cilt 3, Ek 2, 3–6, 2002.
- [15] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Public Health assessment for Loudon County Hazardous air pollutants, Loudon County, Tennessee, 2006.

ÖZGEÇMİŞLER

Zehra BOZKURT

1978 yılı Ankara doğumludur. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi (KOÜ) Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden mezun olmuştur. 2003 yılında KOÜ FBE Kimya ABD'da yüksek lisansını tamamlamıştır. 2001-2004 yılları arasında KOÜ Kimya Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmıştır. 2004 yılından itibaren ise KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2004 yılında KOÜ FBE Çevre Mühendisliği ABD'da doktora programına başlamış ve halen devam etmektedir.

Demet ARSLANBAŞ

1974 yılı İzmit doğumludur. 1997 yılında KOÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2001 yılında KOÜ FBE Çevre Mühendisliği ABD'da yüksek lisansını tamamlamış, 2002 yılında aynı dalda doktora programına başlamıştır ve halen devam etmektedir. 1998 yılından beri KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Hakan PEKEY

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1992 yılında KOÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1993-1995 yılları arasında KOÜ Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmıştır. 1995 yılında KOÜ FBE Makina Mühendisliği ABD'da yüksek lisansını, 2003 yılında Çevre Mühendisliği ABD'da doktora programını tamamlamıştır. 1995-1999 yılları arasında Pakmaya A.Ş. İzmit fabrikasında Teknik Md.Yrd. görevini yapmıştır. 2000 yılından bu yana KOÜ Çevre Koruma Bölümünde görev yapmaktadır.

Beyhan PEKEY

1971 yılı Zonguldak doğumludur. 1992 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1993-2004 yılları arasında KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmıştır. 1996 yılında KOÜ FBE Çevre Mühendisliği ABD'da yüksek lisansını, 2005 yılında Çevre Mühendisliği ABD'da doktora programını tamamlamıştır. Halen KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

Abdullah ZARARSIZ

1956 yılı Tarsus doğumludur. 1980 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. İnönü Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak 3 yıl görev yapan Abdullah ZARARSIZ 1983 yılından beri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Araştırma Merkezlerinde araştırmacı ve yönetici olarak çalışmıştır. Halen SANAEM Analitik Ölçüm ve Analiz Birim Koordinatörlüğünü yürütmektedir. 1983 yılında Yüksek Lisans, 1988 yılında ise Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora programını tamamlamıştır.

Güray DOĞAN

1979 yılı Malatya doğumludur. 2002 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2005 yılında ODTÜ FBE Çevre Mühendisliği ABD'da yüksek lisansını tamamlamış, 2005 yılında aynı dalda doktora programına başlamıştır ve halen devam etmektedir. 2004 yılından beri ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Yetkin SÖNMEZ DUMANOĞLU

1978 yılı İzmir doğumludur. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2003 yılında DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde hava kirliliği ve kontrolü bilim dalında yüksek lisansını tamamlamıştır. 2003 yılında aynı dalda doktora programına başlamış ve DEÜ Hava Kirliliği Laboratuvarı tarafından yürütülen projelerde araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Abdurrahman BAYRAM

1962 yılı Uşak doğumludur. 1984 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 1987 yılında DEÜ FBE'de yüksek lisansını, 1995 yılında DEÜ FBE Çevre Mühendisliği ABD'da doktorasını tamamlamıştır. 1999 yılında Doçent, 2007 yılında Profesör ünvanı alan Abdurrahman Bayram halen DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır.

Nurettin EFE

1955 yılı Düzce doğumludur. 1980 yılı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünden mezun olmuştur. 1978 yılından beri TAEK Araştırma Merkezlerinde araştırmacı olarak çalışmaktadır. 1985 yılında Yüksek Lisans, 1991 yılında ise doktora programını tamamlamıştır.

Gürdal TUNCEL

1952 yılı İzmir doğumludur. 1975 yılında ODTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden mezun olmuştur. 1978 yılında ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını, 1985 yılında University of Maryland'de Atmosfer Kimyası alanında doktorasını tamamlamıştır. 1994 yılında Profesör ünvanı alan Gürdal TUNCEL halen ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır.